

**Висновки:** Методом скінченних елементів проведено моделювання холодного видавлювання ступінчатих порожнин пресформ із сталі 12ХН3А в умовах дії диференційованого протитиску на вільну поверхню заготовки. Проведення чисельних експериментів дозволило встановити: величину протитиску, який забезпечує формоутворення порожнини без руйнування, кінцеву геометрію виробу, напружено-деформований стан здеформованої заготовки, розподіли питомих зусиль на інструменті та силовий режим видавлювання. Проведено експериментальні роботи по видавлюванню ступінчатих порожнин в циліндричних заготовках із сталі 12ХН3А з прикладанням диференційованого протитиску на позаконтактну поверхню заготовки.

**Список літератури:** 1. *Хыбемяги А.И.* Выдавливание точных заготовок деталей штампов и пресс-форм // Хыбемяги А.И., Лернер П.С.; М.: Машиностроение, 1986. – 150 с. 2. *Пью Х.Л.* Механические свойства материалов под высоким давлением // Под ред. Пью Х.Л. Том 1; М.: Изд-во «Мир», 1973. – 296. 3. *Уральський В. И.* Деформации металлов жидкостью высокого давления // Уральський В. И., Плахотин В. С., Шефтель Н. И. и др.; М.: Металлургия, 1976. – 423с. 4. *Белошенко В. А.* Теория и практика гидроэкструзии.// Белошенко В. А., Варюхин В.Н, Спусканюк В.З.; К.: Наукова думка, 2007. – 246 с. 5. *Черный Ю. Ф.* О некоторых способах и устройствах для холодного гидростатического выдавливания формообразующих полостей штампов и пресс-форм. // Черный Ю. Ф., Шмальц П. Е., Шмальц Н. А. и др.; Физика и техника высоких давлений. Вып. 9. 1982р. С.14-18. 6. *Калюжний В. Л.* Штамп для виготовлення порожнин в заготовках з важкодеформуючих матеріалів: пат. України №40973: МПК В21J13/02 // Калюжний В. Л., Калюжний О. В., Піманов В. В., Паляничко Є. М.; Заявник і патентовласник НТУУ „КПІ”; Опубл. 27.04.2009, бюл. № 8.

## УДК 621. 9

**В. Л. КАЛЮЖНИЙ**, докт. техн. наук, проф.; НТУУ "КПІ", Київ  
**С. А. ПАХОЛКО**, магістр; НТУУ „КПІ”, Київ  
**І. П. КУЛІКОВ**, магістр; НТУУ „КПІ”, Київ

### ВИКЛЮЧЕННЯ ПОТОНШЕННЯ І ВИКРИВЛЕННЯ ТОРЦЯ СТІНКИ ПРИ ВІДБОРТУВАННІ ОТВОРІВ

Методом скінченних елементів проведений аналіз відборткування отвору в заготовці із маловуглецевої сталі, який отриманий попереднім видавлюванням з подальшим пробиванням перемички. Таке відборткування забезпечує постійну товщину і плоский торець стінки після формоутворення. Для переходів видавлювання і відборткування моделюванням встановлені кінцева геометрія виробу, силові режими, напружено-деформований стан в заготовці, зміцнення і ступінь використання ресурсу пластичності металу після деформації.

Методом конечных элементов выполнен анализ отбортовки отверстия в заготовке из малоуглеродистой стали, которое получено выдавливанием с последующей пробивкой перемычки. Такая отбортовка обеспечивает постоянную толщину и плоский торец стенки после формообразования. Для переходов выдавливания и отбортовки моделированием установлены конечная геометрия изделий, силовые режимы, напряженно-деформированное состояние заготовок, упрочнение и степень использования ресурса пластичности металла после деформации.

The analysis of flanging of hole in the workpiece made of low-carbon steel, which obtained by extrusion with following punching of jumper, was carried out by finite element method. Such flanging ensures constant thickness and flat butt of wall after deformation. The final geometry of product, power modes, mode of deformation of workpieces, strengthening and degree of metal plasticity resource after deformation for steps of extrusion and flanging steps were determined by modeling.

**Вступ.** При відбортуванні отворів, за рахунок взаємодії робочого інструменту із заготовкою, відбортowana стінка потоншується, а її торець викривляється [1]. Тому при використанні листових або порожнистих заготовок з постійною товщиною практично неможливо отримати рівну товщину і плоский торець відбортowanej стінки. Відомі кілька способів відбортування отворів, які забезпечують зменшення різностінності відбортowanej стінки (рис. 1). Спосіб відбортування отворів в листових та порожнистих заготовках з метою покращення різностінності стінки і збільшення її висоти передбачає формування гофри торovidного перерізу, який розташований концентрично отвору на ділянці, що відбортується (рис. 1а) [2]. Недоліками цього способу є підвищені витрати металу по причині пробивання отворів, неможливість формування гофри в товстолистових заготовках, а також при відбортуванні даним способом має місце викривлення торця відбортowanej частини заготовки. Згідно способу відбортування отворів з утворенням потовщеної стінки під різьбу шляхом витиснення частини металу пуансоном, який має плоский торець і затупленими кромками, в кільцеву порожнину з подальшими операціями видалення перемички, що знаходиться в середній частині, і відбортування (рис. 1б) [3]. Недоліками даного способу є потоншення заготовки на радіусі заокруглення при відбортуванні, торець відбортowanej частини має викривлення із-за того, що заглиблення має постійний діаметр, розташування перемички посередині заглиблення, яка видаляється пробиванням, обумовлює утворення тріщин на торці відбортowanej частини заготовки. По способу відбортування отворів, в якому з метою підвищення якості відбортowanej частини, використовується заготовка з профільованим по товщині діаметром, і заготовку встановлюють в матрицю більшим діаметром до профільованого пуансону (рис.1в) [4]. Недоліками даного способу є необхідність виконання отвору в заготовці, що збільшує витрати металу, сили тертя між пуансоном і заготовкою приводять до збільшення зусилля деформування, стискаючі напруження в радіальному напрямку приводять до гофроутворення у відбортovanій частині при відбортуванні тонколистових матеріалів, форма вихідного отвору приводить до суттєвого викривлення торця відбортowanej частини заготовки. Відомий спосіб отримання відбортovaných отворів з попереднім утворенням борта при пробиванні отвору на листовій заготовці, а кінцеве відбортування проводять зі сторони попередньо отриманого борта і, при цьому, попередньо отриманий борт вирівнюють (рис. 1г) [5]. Недоліками способу є витрати металу при пробиванні отвору, неможливість утворення потовщеної частини на великій довжині заготовки, низька якість відбортowanej частини великої висоти завдяки потоншенню стінки при відбортуванні.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є визначення, за допомогою моделювання методом скінченних елементів (МСЕ), параметрів формоутворення отвору видавлюванням з утворенням виступу необхідної форми на поверхні листової заготовки та подальшого відбортування з утворенням стінки постійної товщини і плоского торця відбортованої частини.

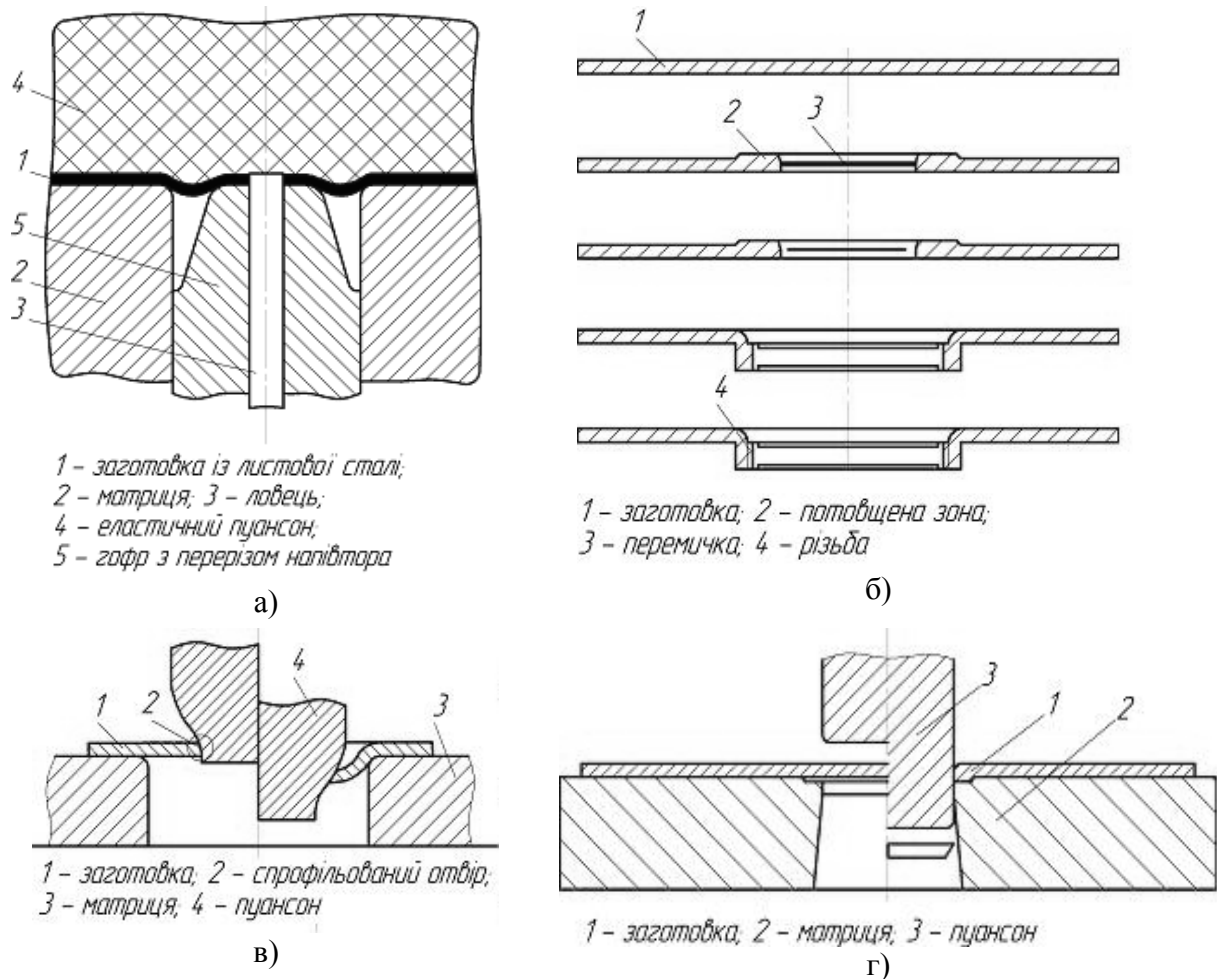


Рис. 1. Існуючі способи відбортування для зменшенні різностінності відбортованої частини заготовки

**Результати досліджень.** Математичні моделі, які створені за допомогою МСЕ процесу відбортування, враховували геометричну форму пуансона і матриці, тертя на контактуючих поверхнях, пружні властивості сталі, зміцнення здеформованого металу по діаграмі істинних напружень, можливість руйнування при холодній формозмінні та розвантаження після пластичної деформації. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким.

Розрахунковий аналіз проводили для вісесиметричної листової заготовки із маловуглецевої сталі 08 товщиною  $S_0=3$  міліметри (мм) і

діаметром  $d_3=140$  мм. Для отримання стінки постійної товщини і плоского торця відбортованої частини необхідно виконати профілювання заготовки при формоутворенні отвору холодним видавлюванням пуансоном з конічним торцем. Схема процесу формоутворення отвору і профілювання заготовки видавлюванням показана на рис. 2 (в силу симетрії показана половина схеми). Листова заготовка встановлюється в обойму 2 на виштовхувач 5 і притискається

притискачем 3 з конічним профілем. Видавлювання відбувається за допомогою пуансону 4 діаметром  $d_{\text{п}}=42$  мм. Форма торця пуансону 4 вибирається таким чином, щоб забезпечити мінімальне зусилля видавлювання. Кут  $\alpha$  пуансону визначався розрахунковим шляхом таким, щоб забезпечити плоский торець відбортаної частини. Кут конічного профілю притискача 3 також визначався моделюванням для отримання необхідного профілю заготовки 1 і забезпечення стінки постійної товщини ( $S_0$ ) при подальшому відбортунні. Перемичка, яка залишається після видавлювання, знаходиться зі сторони меншого діаметра порожнини, що забезпечує виключення мікротріщин в середній зоні відбортаної стінки після пробивання перемички.

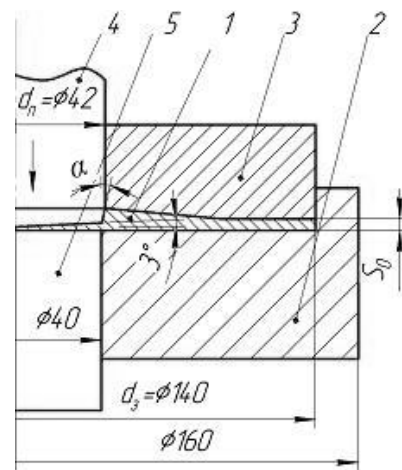


Рис. 2. Схема формоутворення отвору і профілювання заготовки видавлюванням

Розрахункова схема формування отвору і профілювання заготовки наведена на рис. 3 (задача вісесиметрична, розглядали половину заготовки). Заготовка 1 розміщена в обоймі 3 на виштовхувачі 5. Зверху на заготовці встановлений притискач 2. Навантаження  $P_d$  у вигляді крокових переміщень прикладали через пуансон 4. В результаті проведених розрахунків була визначена залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону (рис. 4). Зусилля видавлювання постійно зростає і досягає, для даного розміру пуансона, значення 2750 КН в кінці видавлювання. Питомі зусилля на пуансоні, які виникають при максимальному значенні зусилля видавлювання, можна оцінити по розподілу осьових напружень на поверхні заготовки, що контактує з пуансоном. Вказаний розподіл зображений на рис. 5. Питомі зусилля на пуансоні досягають максимальних значень в центрі (3100 МПа) і спадають до краю пуансона (1270 МПа).

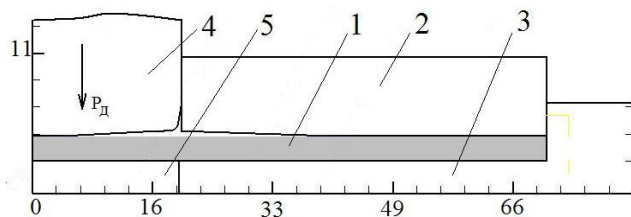


Рис. 3. Розрахункова схема формування отвору і профілювання заготовки

інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та осьових напружень  $\sigma_z$  по об'єму заготовки. По розподілу  $\varepsilon_i$  можна оцінити пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією починається з діаметра 68 мм і збільшується в напрямку отвору. Осередок деформації, як видно з розподілу  $\sigma_i$  (рис. 6в), розповсюджується в заготовці до діаметра 48 мм. Значні осьові напруження  $\sigma_z$  (до 2600 МПа) виникають на пуансоні і на виштовхувачі (рис. 6г). На обоймі і притискачі вказані напруження досягають значень до 760 МПа. Ці напруження необхідно враховувати при проектуванні деформуючого інструменту.

На рис. 6 зображена zdeформована заготовка в розрізі після видавлювання та розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$ ,

інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та осьових напружень  $\sigma_z$  по об'єму заготовки. По розподілу  $\varepsilon_i$  можна оцінити пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією починається з діаметра 68 мм і збільшується в напрямку отвору. Осередок деформації, як видно з розподілу  $\sigma_i$  (рис. 6в), розповсюджується в заготовці до діаметра 48 мм. Значні осьові напруження  $\sigma_z$  (до 2600 МПа) виникають на пуансоні і на виштовхувачі (рис. 6г). На обоймі і притискачі вказані напруження досягають значень до 760 МПа. Ці напруження необхідно враховувати при проектуванні деформуючого інструменту.



Рис. 4. Графік залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона

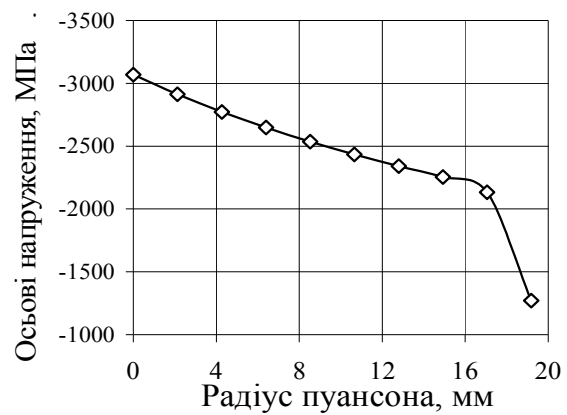


Рис. 5. Розподіл осьових напружень на торці пуансону при видавлюванні

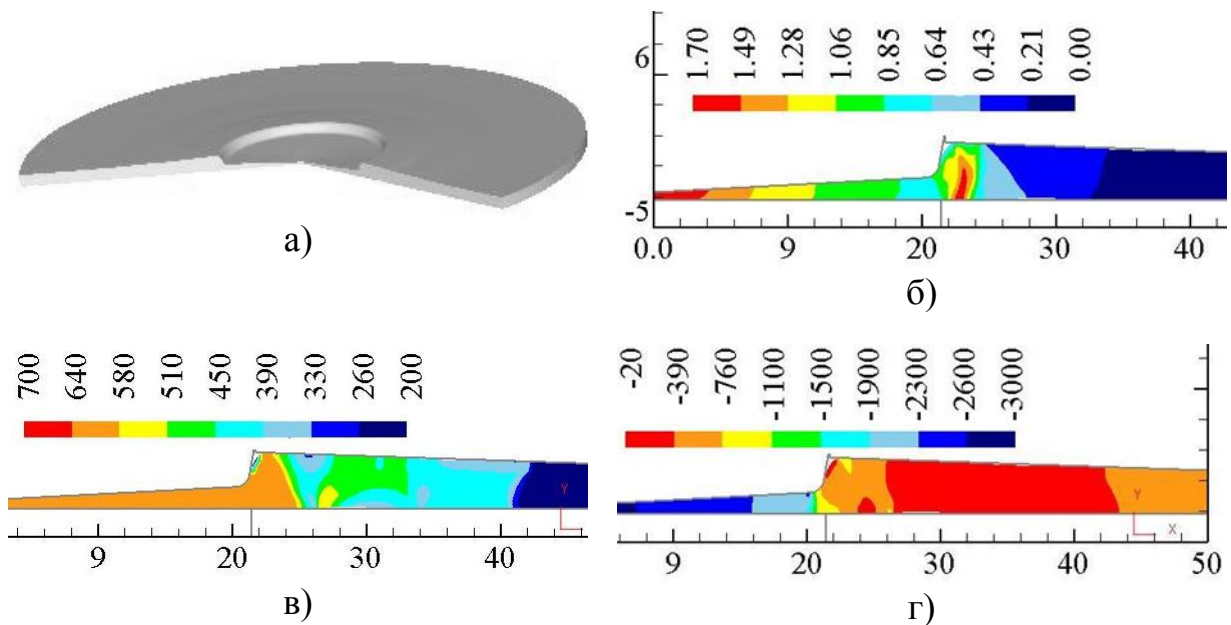


Рис. 6. Здеформована заготовка в розрізі після видавлювання (а) та розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  (б), інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (в) та осьових напружень  $\sigma_z$  (г) по об'єму заготовки

Для підвищення продуктивності праці процеси пробивання перемички і відборткування необхідно суміщати. Схема штампу для пробивання перемички і подальшого відборткування зображена на рис. 7. Спрофільовану заготовку 1 після видавлювання встановлюють на матрицю 2 таким чином, щоб перемичка була зі сторони пуансону 3 і фіксують притискачем 4. Матриця 2 опирається і закріплюється на плиті 5. Потовщені ділянки спрофільованої заготовки 1 опираються на обойму 6, яка містить паз для пружини 7. Під час руху пуансону 3 вниз спочатку проходить пробивання перемички 9, яка випадає в провальний отвір, а потім виконується відборткування спрофільованої заготовки 1. Під дією

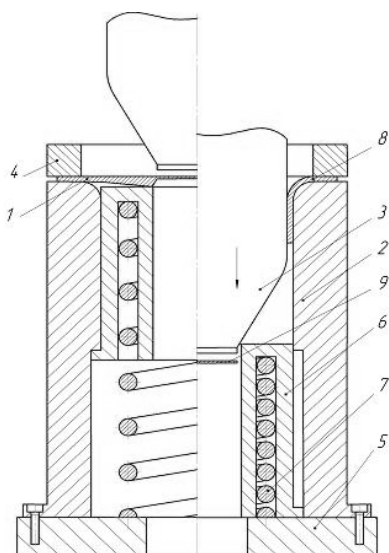


Рис. 7. Схема штампу для пробивання перемички і відборткування

виконується пуансоном 4. Розрахункова

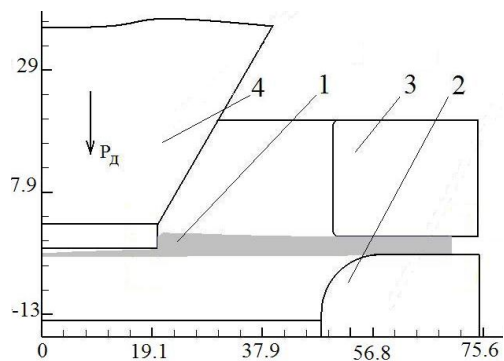


Рис. 8. Розрахункова схема пробивання перемички і подальшого відсорткування (розміри в міліметрах)



Рис. 9. Залежність зусилля відборткування від переміщення пуансону

пуансона 3 пружина 7 стискається і обойма 6 опускається вниз. Після процесу відборткування отримується заготовка 8 з рівними стінками і плоским торцем.

Моделювання відборткування виконувалося з урахуванням накопичених деформацій і напружень в заготовці, яка отримана видавлюванням. На рис. 8 зображена розрахункова схема пробивання

перемички і подальшого відборткування. Заготовка 1, яка отримана видавлюванням, встановлена на матриці 2 і зафіксована притискачем 3. Пробивання перемички і відборткування залежність зусилля відборткування  $P_d$  від переміщення пуансона показана на рис. 9. Розподіл нормальних напружень на поверхні заготовки, яка контактує з пуансоном при максимальному зусиллі відборткування зображений на рис. 10. Вказані напруження розподілені нерівномірно по довжині контактуючої поверхні між пуансоном і заготовкою. Значення напружень знаходиться в межах 45-105 МПа.



Рис. 10. Розподіл нормальних напружень на поверхні заготовки, яка контактує з пуансоном



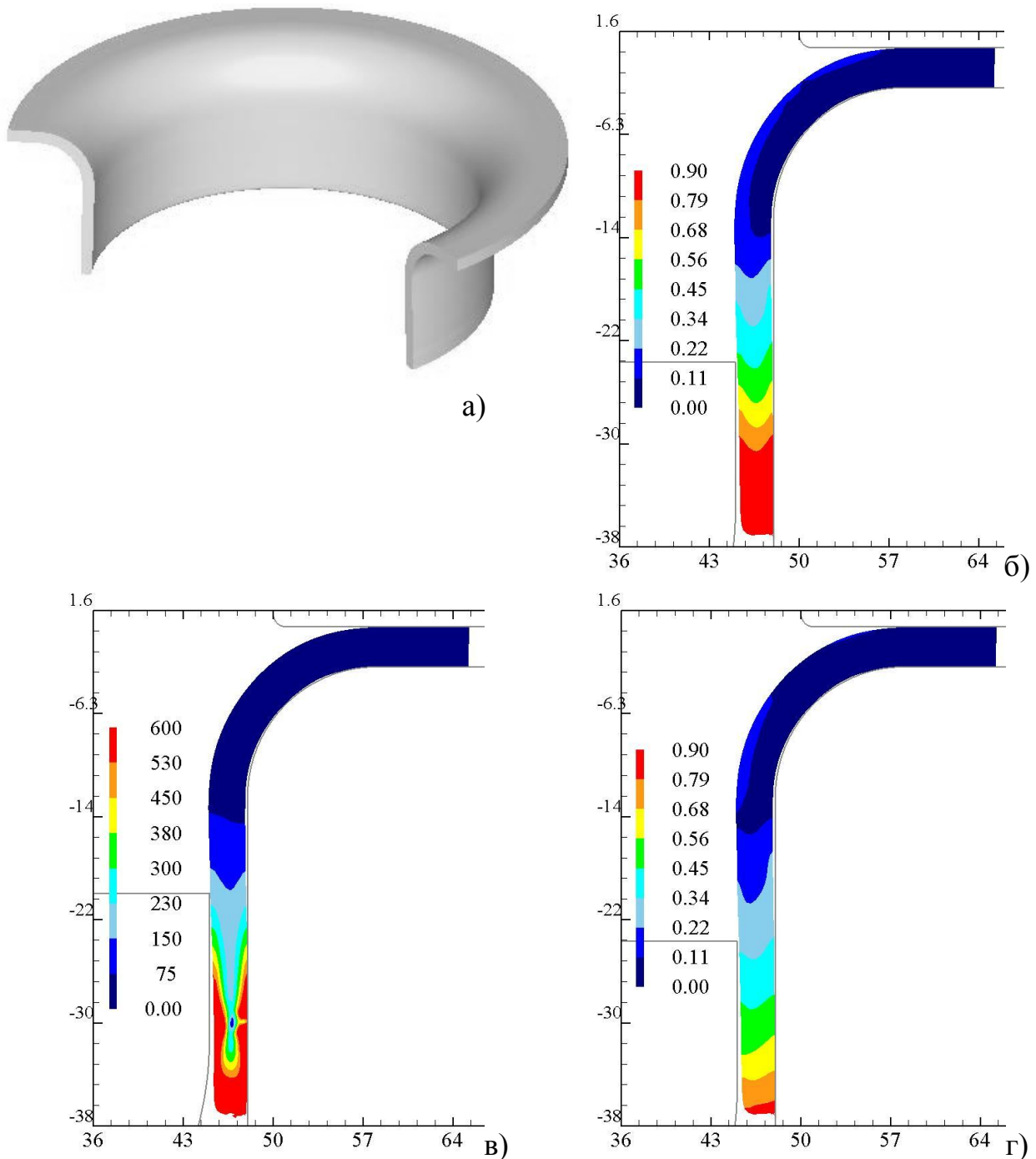


Рис. 11. Здеформована заготовка в розрізі після відбортуння (а) та розподіли ступеню використання ресурсу пластичності (б), інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$  (в), інтенсивності напружень  $\sigma_i$  (г) та по об'єму заготовки

На рис. 11 зображена zdeформована заготовка в розрізі після відбортуння та розподіли інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$ , інтенсивності напружень  $\sigma_i$  та ступеня використання ресурсу пластичності  $\psi$  zdeформованого металу по об'єму заготовки. В результаті відбортуння отримана постійна товщина стінки та плоский торець відбортеної частини (рис. 10а). Пропрацювання структури металу пластичною деформацією проходить по всьому об'єму відбортеної частини. Значення інтенсивності деформацій змінюється від  $\epsilon_i=0,22$  на закінченні радіуса заокруглення з поступовим збільшенням до  $\epsilon_i=0,9$  по стінці відбортеної

частини заготовки. Зміцнення здеформованого металу в відбортованій частині заготовки, як видно з розподілу інтенсивності напружень (рис. 10в), в порівнянні з умовною межею текучості вихідного металу, досягає значення 2,6 рази. Формоутворення відбортованої частини проходить без руйнування. Максимальне значення ступеню використання ресурсу пластичності складає 0,9.

**Висновок.** Розрахунковим шляхом встановлені параметри формоутворення отворів та профілювання листових заготовок видавлюванням, а також відбортування, які забезпечують постійну товщину стінки та плоский торець відбортованої частини.

**Список літератури:** 1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский - Ленингр. отд-ние: Машиностроение., 1979. - 520 с. 2. Жвик И.М. Способ отбортовки отверстий: А.С. СССР №570430. МПК В21D19/00. //Жвик И.М., Ляхович С.Р. – Опубл. 30.08.77. Бюл. № 32. 3. Cheinz P. Способ отбортовки отверстий: Заявка ФРГ №2557564. МПК В21D51/18// Cheinz P.– Заявл. 20.12.75, опубл. 30.06.77. 4. Логунов Л.П. Способ отбортовки отверстий: А.С. СССР №1430136// Логунов Л.П. – Заявл. 05.11.86, опубл. 15.10.88. Бюл. № 38. 5. Соколов Л.Н. Способ получения отбортованных отверстий: А. С. СССР №1098619. МПК В21D35/00// Соколов Л.Н., Роганов Л.Л., Тарасов А.Ф., Мамотенко В.А., Каракуц Ю.С. – Заявл. 08.10.80, опубл. 23.06.84. Бюл. № 23.

**УДК 621.73.043**

**МКРТЧЯН Е.А.**, аспирант, асс. каф. КШП ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВКИ «ОСТРЯК» РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ**

Проведено сопоставление изготовления поковки «остряк» различными технологическими схемами штамповки. Проведено 3D-моделирование различных технологий штамповки методом конечных элементов. На основе анализа моделирования показано преимущество методом штамповки с закрытой торцевой полостью. Показано, что применение рациональной технологии штамповки позволит снизить обрызг и увеличить производительность.

Ключевые слова: сравнительный анализ, штамповка, моделирование, сила, поковка, рельс остряковый.

A comparison of obtaining forged 'ostryak' different technological schemes of stamping. 3D simulation is carried out by the method of finite elements of various technologies of stamping. Based on the analysis of simulation shows the advantage of metal punching with a closed end cavity. It is shown that the use of sound technology will reduce the punching scraps and increase productivity.

Keywords: comparative analysis, stamping, modeling, strength, forging, rail ostryakova.

Проведено зіставлення виготовлення поковки «гостряк» різними технологічними схемами штампування. Проведено 3D-моделювання різних технологій штампування методом кінцевих елементів. На основі аналізу моделювання показано перевагу методом штампування із закритою торцевою порожниною. Показано, що застосування раціональної технології штампування дозволить знизити обрізки та збільшити продуктивність.

Ключові слова: порівняльний аналіз, штампування, моделювання, сила, поковка, рейка острякова.